

電子産業用クリーンルームに於ける高効率空気循環方式の研究

著者	横田 繁夫
号	52
学位授与番号	3904
URL	http://hdl.handle.net/10097/37620

氏 名	よこた しげお
授 与 学 位	横 田 繁 夫
学位授与年月日	博士（工学）
学位授与の根拠法規	平成 19 年 9 月 12 日
研究科、専攻の名称	学位規則第 4 条第 1 項
学 位 論 文 題 目	東北大学大学院工学研究科（博士課程）技術社会システム専攻
指 導 教 員	電子産業用クリーンルームに於ける高効率空気循環方式の研究
論文審査委員	東北大学教授 須川成利
	主査 東北大学教授 須川 成利 東北大学教授 伊藤 隆司
	東北大学客員教授 大見 忠弘
	（未来科学技術共同研究センター）

論文内容要旨

1) はじめに

半導体や平板ディスプレイなどの電子デバイス・電子機器を製造するには、温度・湿度・清浄度が高精度に制御されたクリーンルームが不可欠である。今日、素子の微細化とウエハやガラス基板の大型化がますます進行し、更に高性能なクリーンルームが必要となってきたが、従来の施工技術では、建設コストと運転維持コストが高騰してしまい、結果的に電子デバイス・電子機器の価格競争力に影響を及ぼすと言う状況が発生している。今後とも、電子産業を継続的に発展させるためには、高精度かつ安価に電子デバイス・電子機器を製造することのできる高度なクリーンルーム技術の確立が必須である。その中でも特に新規な清浄空気循環技術の実現が鍵となる。本論分は、この様な状況を鑑み省エネルギー・省コスト・空間使用効率の向上を可能とする半閉止板型高効率クリーンルーム空気循環技術を開発し、その性能を実証した成果をまとめたものである。

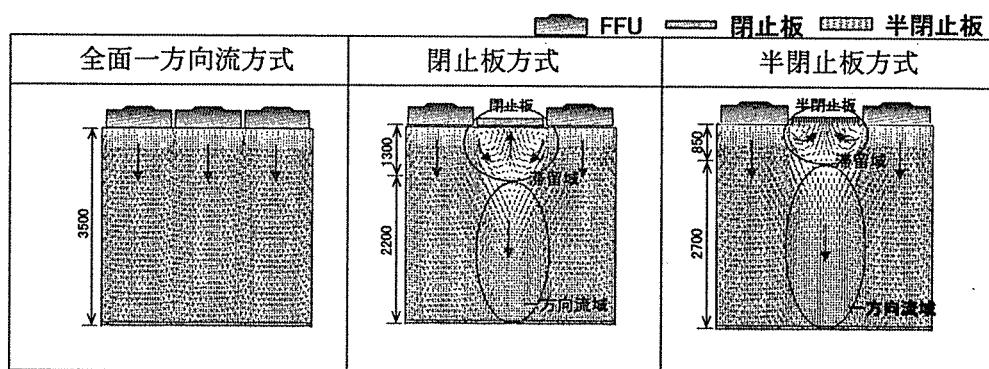
2) クリーンルームの空気循環方式の課題

クリーンルームは①イニシャルコスト・ランニングコストの低減、②クリーンルームの空間使用効率の向上、③温度・湿度・化学物質等の揺らぎ因子の制御を求められている。昨今では、生産装置や使用部材の開発により塵埃や化学物質の発生防止対策はほぼ完全に行われてきた。一方人間からの発塵対策は無塵服の開発により少なくなったが、なお発塵源として存在している。この為、従来は人間の頭部（床 上 1 8 0 0 mm）にて発生した塵埃を床面までに拡散する距離を 3 0 0 mm 以内とする吹出風速 0. 4 m/s 以上としていた。

最近では各工程内及び工程間搬送に SMIF (Standard Mechanical Inter Face) システム、FOUP (Front Opening Unified Pod) や BORP (Bottom Operating Removal Pod) を用いたミニエンバイロメント方式が採用される様になった。この方式に於いては生産装置内で処理されたウエハはロボットにて FOUP や BORP に搬送し密閉した後、次の工程へ移動する為ウエハが直接クリーンルームの空気に触れる事はない。この為クリーンルームの気流速度は人間から発生した塵埃をウエハに付着させないと言う観点決めるのではなく、クリーンルームの使用目的である歩留向上と不良対策と言う観点

から決める。不良対策とは製品不良が発生した時、不良の原因を早期に発見し対策する事である。歩留向上からも不良対策からも揺らぎのない空間が必要である。気流から考えると、揺らぎのない空間とは一方向流である。一方向流を乱す原因は、生産装置表面温度に起因する上昇流である。現状のほとんどの半導体生産装置は 40℃以下であり、今後低温プロセスの生産装置を導入されれば更に装置表面温度は低くなる。(財)製品安全協会では3.0分から1時間の接触で火傷にならない温度として 46℃と報告している。46℃の発熱体表面からの上昇風速は0.1 m/s である。今後の状況を考慮すると現状の最大上昇風速0.1 m/s 以上あれば一方向流を形成出来ると言える。

今後のクリーンルームは、空気循環の面だけから言うと揺らぎのない空間を形成出来るなら FFU と閉止板を混在させた閉止板方式としても良いが、閉止板下には滞留域を形成し、この滞留域に塵埃が紛れ込むと静電気力等で巨大化し汚染源となる。閉止板下の滞留域の清浄度を向上させる方法として一部の空気をクリーンルームから天井チャンバーへ抜く事が考えられる。この方式を半閉止板方式と称す。全面一方向流方式・閉止板方式・半閉止板方式の気流シミュレーション結果を図一1に、各方式のイニシャルコスト・ランニングコスト及びレターンスペースを比較した結果を表一1に示す。



図一1 各方式の気流シミュレーション結果

表一1 各方式の比較

	全面一方向流方式	閉止板方式	半閉止板方式
平面配置			
気流風速			
イニシャルコスト比 (吹出部のみ)	1.12	1.0	1.01
ランニングコスト比 (空気循環動力のみ)	1.13	1.0	1.0
リターンスペース比 (風速 2m/s)	1.13	1.0	0.9

以上の事から半閉止板方式はイニシャルコスト・ランニングコストの低減が図れ、汚染源である滞留域の縮小が出来ると同時にレターンスペースも小さく出来る。又滞留域内気流状況から回復特性も良く揺らぎのない空間を形成出来ると予測される。今後のクリーンルームの要求事項を満足する方式として半閉止板クリーンルーム方式を開発した。

3) 半閉止板クリーンルームの基礎的検証

閉止板や半閉止板と FFU を混在させた一方向流のクリーンルームに於いて滞留域高さに与えるファクターを把握する為、シミュレーション実験を行った。又その回復特性の相違を知る為実験を行った。

3. 1 吹出風速・吸込風速の影響

滞留域高さは、FFU からの吹出風速と半閉止板からの吸込風速の双方に相関がある。半閉止板吸込風速と FFU 吹出風速比（以後風速比と称す）と滞留域高さの関係を図-2 に示す。

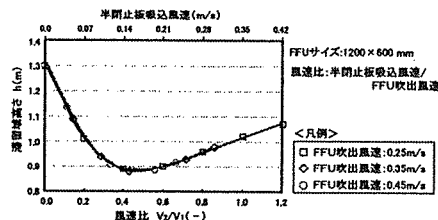


図-2 風速比と滞留域高さの関係

図-2 より滞留域高さは風速比で決まり、その最適値は風速比 0.4 近傍である。これは、実験からも実証された。

3. 2 グリッド（半閉止板）形状の影響

グリッドの縦横比を 1 : 2 とし面積を変化させた場合のシミュレーション結果を図-3 に、グリッドの面積を一定とし縦横比を変化させた場合のシミュレーション結果を図-4 に示す。

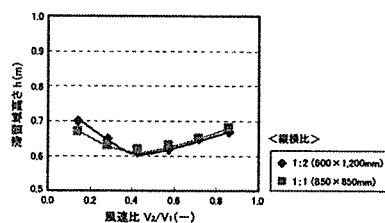
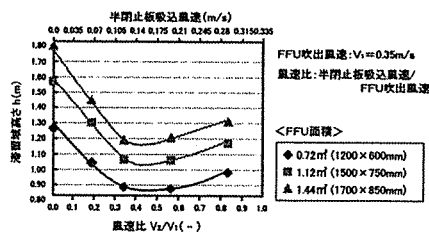


図-3 各面積に於ける風速比と滞留域高さの関係 図-4 各縦横比に於ける風速比と滞留域高さの関係

図-3、図-4 より滞留域高さは面積に影響されるが、実用的な縦横比 1 : 2 以内では縦横比に影響されない。これは、実験からも実証された。面積の影響をなくす為滞留域高さをグリッド（半閉止板）面積の平方根にて除し無次元化したグラフを図-5 に示す。

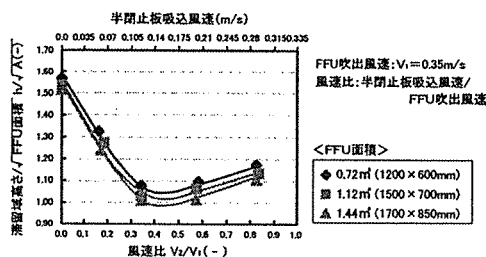


図-5 風速比と滞留域高さ/ $\sqrt{\text{グリッド面積}}$ の関係

3. 3 塵埃回復特性

閉止板下・半閉止板下の滞留域内塵埃回復特性の相違を確認する為実験を行った。

塵埃回復特性断面とその測定位置図を図-6、閉止板時の塵埃回復特性実験結果を図-7、半閉止板時の塵埃回復特性実験結果を図-8 に示す。

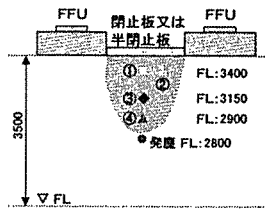


図-6 塵埃回復特性断面とその測定位置図

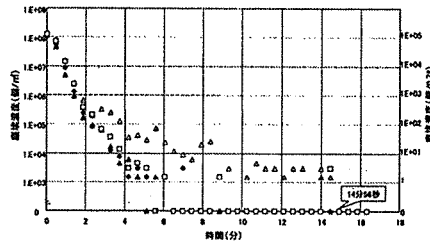


図-7 閉止板時の塵埃回復特性実験結果

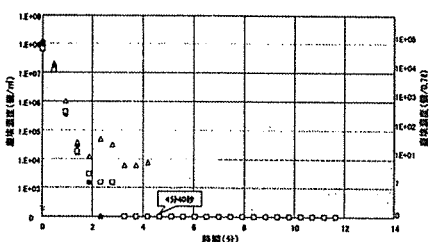


図-8 半閉止板時の塵埃回復特性実験結果

図-7、図-8 より塵埃回復特性は半閉止板の方が閉止板より優れている。

4) 半閉止板クリーンルーム方式の実規模への適用

4. 1 未来情報産業研究館への適用

第3章で得た基礎データを基に実規模クリーンルームである未来情報産業研究館に適用し気流・塵埃回復特性が基礎データと同様の結果を得る事を確認した。

4. 2 適用限界の推定

実装率の適用限界をシミュレーションにて検討した。床上1mに於いて風速0.1m/s以上を満足出来るのは、実装率66%以上の場合FFU吹出風速0.35m/s、半閉止板吸込風速0.15m/s、FFU実装率50%の場合FFU吹出風速0.45m/s、半閉止板吸込風速0.19m/sである。なお、実装率50%以下では一方向流を形成しない。

また、クリーンルーム有効面積10,000m²（レターンスペースを除く）にて各実装率に於ける効果の算定した結果を図-9に示す。

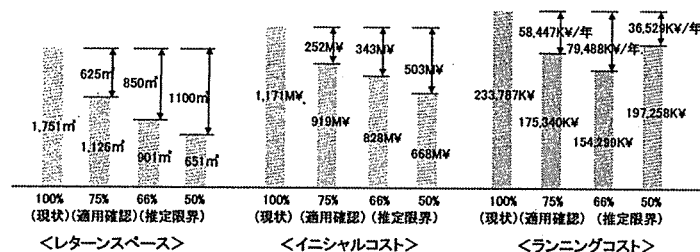


図-9 各実装率に於ける比較

床上1mに於ける風速0.1m/s以上を満足出来る実装率は66%と50%である。このうちどちらが最適であるかは経営判断によるが、単純計算ではあるが実装率50%のインシャルコストの有利な期間は3.8年である。

5) まとめ

本論分では、今後のクリーンルームの要求事項を満足する方式として半閉止板クリーンルーム方式を開発した。開発した半閉止板クリーンルーム方式の使用上の最適条件を明らかにすると同時に、今後の生産方式に対しユーザーニーズに合った最適なクリーンルーム方式を提案出来た。

6) 参考文献

- 1) 稲葉、他：超 LSI ウltraクリーンテクノロジーシンポジウム NO.8 サブミクロン ULSI プロセス技術 II (1989)
- 2) (財) 製品安全協会発表資料、P1~2 (2007)
- 3) 横田繁夫：通風抵抗を用いた天井レターン方式クリーンルーム、The 17th International Micro Electronics Conference (2005)

論文審査結果の要旨

半導体や平板ディスプレイなどの電子デバイス・電子機器を製造するには、温度、湿度、清浄度が高精度に制御されたクリーンルームが不可欠である。今日、素子の微細化とウェーハやガラス基板の大型化がますます進行し、さらに高性能なクリーンルームが必要となってきたが、従来のクリーンルーム施工技術では、建設コストと運転・維持コストが高騰してしまい、結果的に電子デバイス・電子機器の価格競争力に影響を及ぼすという状況が発生してきている。今後とも、電子産業を継続的に発展させるためには、高精度かつ安価に電子デバイス・電子機器を製造することのできる高度なクリーンルーム技術の確立が必須である。その中で特に新規な清浄空気循環技術の実現が鍵となる。本論文は、この様な状況を鑑み、省エネルギー、省コスト、空間使用効率の向上を同時に具現化する半閉止板型高効率クリーンルーム空気循環技術を開発し、その性能を実証した成果をまとめたものであり、全文5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、素子の微細化とウェーハやガラス基板の大型化に対応できる高性能クリーンルームの空気循環方式の課題を明らかにし、その課題を解決する技術として、新規な半閉止板型空気循環技術を提案し、その有意性について論じている。ここで提案されている半閉止板型空気循環技術は、従来天井面全面に設置していたファンフィルタユニットの数を削減しても、クリーンルーム内の空気の流れを一方向流とし、クリーンルーム空間の温度、湿度、清浄度を高精度に制御することを可能とし、有効クリーンルーム面積効率を向上させることのできる技術であり、極めて有益な成果であることが明らかにされている。

第3章では、半閉止板型空気循環方式の最適化を図るために、吹き出し・吸い込み風速、グリッド形状、配置方法などの条件が変化した際の清浄度特性などについて、基礎的かつ系統的な実験と理論計算を対比させながら論じ、その設計論を明らかにしている。これは極めて有用な成果である。

第4章では、第3章で得られた設計論にもとづき、半閉止板型空気循環技術を実規模のクリーンルームに施工し、そこで得られた気流、塵埃濃度、塵埃回復特性などの諸性能について論じ、設計論が正しいことを実証すると同時に、省エネルギー・省コスト・空間使用効率の向上が図れることを示している。これは極めて有益な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、今後の高性能クリーンルームに不可欠な省エネルギー、省コスト、空間使用効率の向上を実現する半閉止板型高効率クリーンルーム空気循環技術を開発し、その性能を実証した成果をまとめたものであり、電子工学および技術社会システム工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。